

塗り壁材等を用いたVOC吸着効果に関する検討

青木 貴均* 石川 伸介*

Examination of the VOC Adsorption Effect using Wall Plastering Materials

by Takahiro AOKI and Shinsuke ISHIKAWA

Abstract

We examined the sampling bag and chamber methods by housing unit in order to solve indoor VOC problems using wall plastering materials, such as clay wall or wall plate containing diatomite and paint containing charcoal to increase the VOC adsorption effect. As a result, some painting materials exhibited rapid adsorption performance. In clay walls mixed with different materials, the absorption performance fluctuated; bamboo and rice hull charcoal increased the absorption effect of toluene. Moreover, when unit wallpaper altered pasted plaster, VOC adsorption performance is ascended despite the fluctuation of VOC concentration at the time of introduction in chamber examination.

要 旨

室内 VOC 対策の一環として、土壁や珪藻土入り壁材・木炭入り塗料などの塗り壁材による VOC 吸着効果について、サンプリングバッグ法による室内試験と、ユニットハウス（以下、ハウス）を用いた実大試験による検討を行った。その結果、土壁・珪藻土入り壁材・木炭入り塗料のすべてで、良好な VOC 吸着性能を示した。特に土壁については、配合材料により性能が異なり、竹炭・くん炭によりトルエンの吸着性能が上昇する傾向が見られた。また、ハウスによる実大試験では、導入時の VOC 濃度の高低にかかわらず、塗り壁材等を施工した場合に、室内 VOC 濃度が低下することを確認した。

キーワード：空気環境/VOC/内装材/実測調査/吸着性能

1. はじめに

シックハウス問題は、2003年7月にシックハウス症候群予防のための法規制を盛り込んだ改正建築基準法が施行され、業界の自主規制も進んだことから、解決されつつある問題と認識されつつある。しかし、現在のシックハウス問題は、法規制物質以外の新たな揮発性有機化合物（以下、VOC）により、継続していると考えられる。また、施工後に持ち込まれた家具等による影響も危惧される^[1]。

一方、近年は室内 VOC 濃度を低減させる方法の一環として、建材自身に濃度低減効果を持たせた VOC 吸着建材が用いられている。吸着材を用いた室内空

気汚染低減方法は、常時換気や汚染源対策による方法に比べ、特別な設備の運転を必要としない長所があり、簡便かつ有効な手法であるとの報告もある。

本検討では、ホルムアルデヒド・トルエンなどの VOC を対象として、サンプリングバッグ法による室内試験及び、ユニットハウス（以下、ハウス）を用いた実大試験を行い、VOC 吸着効果を持つ塗り壁材等（土壁など）の性能評価を行った結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 室内試験（土壁）

* 技術研究所化学環境研究室

(1) 供試体作成

混合日および水合せ期間は0日(0混0日)とした。壁土の練混ぜには、公称容量5ℓのオムニミキサを用いた。材料は1/2土、砂、スサ、1/2土および水の順に投入した。

供試体の作製は、JIS R 5201(セメントの物理試験方法-1992)に従って行った。

練混ぜ後の壁土試料は、三連型枠に詰める前にセメントペースト練混ぜ用(手練り用)さじでかき混ぜ、フロー値を測定した後、容器に取り出した。試料は、モルタル供試体成形用型(□40×40×160mm)に二層に分けて詰め、突き棒(□35×35mm)で、JIS R 5201に従い、各層20回突き、コテでならした。

型枠は供試体作製後3日目まで側面脱型、7日目まで完全脱型を行った。また、供試体の養生は、温度、湿度に関係なく実験室内で気中養生とした。

(2) VOC吸着試験

土壁試験体は、金沢工業大学で作製されたそれぞれ40mm×40mm×160mmのものを使用した。厚さ15mmに切断し乾燥後、テドラーバッグ(以下、捕集袋)に試験体およびVOCガスを封入し、ガス濃度の変化を測定した。VOCガスはホルムアルデヒド・トルエン・アンモニアの3種を対象として、10ℓの捕集袋にそれぞれ薬液を加え、袋がいっぱいになるまで窒素ガスを加え、恒温条件(20℃、湿度70%)で1時間放置して試料ガスとした。

薬液は、37%ホルマリン溶液-2ml(ホルムアルデヒドガス)、トルエン溶液-150μl(トルエンガス)、25%アンモニア水-1ml(アンモニアガス)とした。

VOC評価方法は、ホルムアルデヒドとトルエンについては検知管法、アンモニアについては小型ガス吸尿管に5mlのイオン交換水を入れ、バブリングによりサンプリング(0.1ℓ/min, 1min)を行い、イオンクロマトグラフ(IA-300, 東亜ディーケーケー(株))にて分析を行った。

使用した混和材料の写真を図1に示す。また、竹炭を加えた土壁の写真を図2に示す。原土は京都産土を用い、砂原土比(S/C)は85%とした^[3]。

混和材は竹炭、くん炭、貝灰、消石灰^[4]および珪藻土3種類を使用した。また、混入率は竹炭・くん炭・貝灰は原土の10%とし、消石灰および珪藻土3種類は(原土+混和材)の10%とした。さらに、比較のため混和材の入っていない試験体を製作した。竹炭を配合した調合の一例を表1に示す。

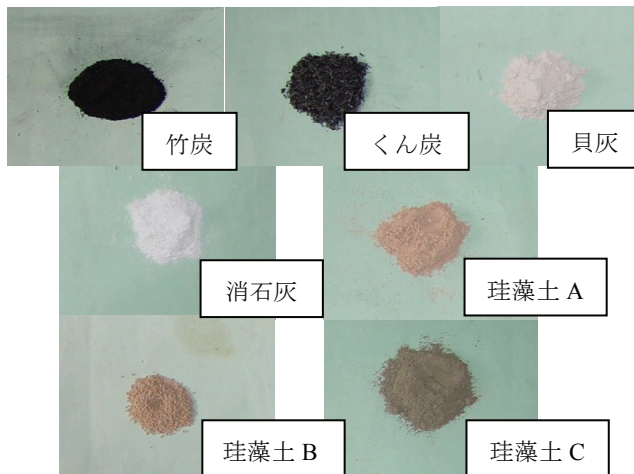


図1 使用混和材料(土壁)



図2 土壁写真(竹炭入り)

表1 調合例(混和材:竹炭)

混入率 (%)	土 C	砂 S	水 W	混和材 M	スサ St
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
10	515.4	438.1	296.4	51.5	16.1

2.2 室内試験(珪藻土入り壁材・木炭入り塗料)

材料は、日本ケイソウド株式会社の珪藻土入り壁材であるエコクイーン(以下、珪藻土入り壁材)、日の丸産業株式会社の木炭入り塗料であるチョコペイント(以下、木炭入り塗料)を用いた。金属板の表面に珪藻土入り壁材もしくは木炭入り塗料(面積50cm²、厚さ2mm)を施工し、5ℓの捕集袋に入れて封をした。珪藻土入り壁材を施工した金属板を図3に、木炭入り塗料を施工した金属板を図4に示す。なお、珪藻土入り壁材は、1mmの下地を塗布した後、室温で乾燥後に、別の本塗り用の材料(厚さ1mm)を施工した。木炭入り塗料は、下地無しで施工した。

30ℓの捕集袋にVOC溶液を一定量加え(37%ホルマリン溶液-3ml, トルエン溶液-0.5ml, 25%アン

モニア水-5ml), 恒温条件 (20°C, 湿度 70%) で静置し, 1 時間程度経過したものを原ガスとし, 検知管による濃度測定を行った。

30ℓ バッグ中のガスを, 各材料を施工したステンレス板を入れた 5ℓ の捕集袋にガスを移し, 2 時間・6 時間・24 時間時点で捕集袋内の VOC 濃度の検知管分析を行った。

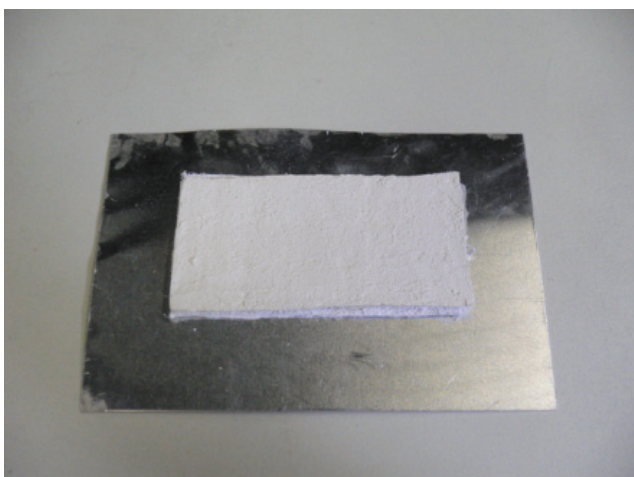


図 3 珪藻土入り壁材 (金属板上)

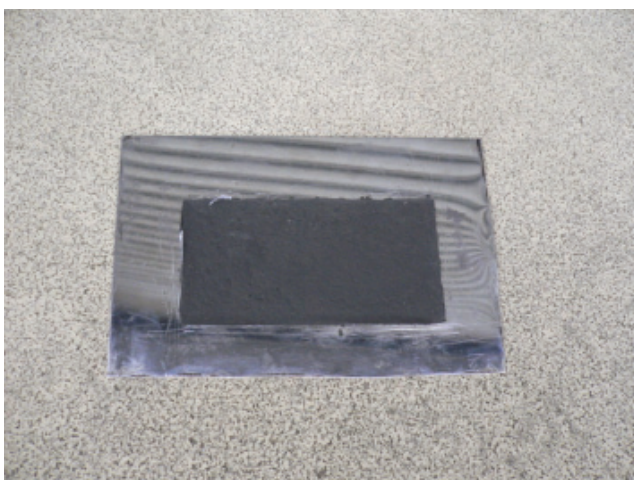


図 4 木炭入り塗料 (金属板上)

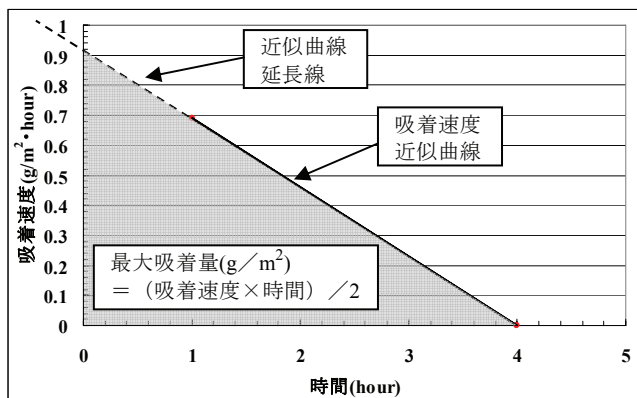


図 5 最大吸着量の計算方法

その結果を基にして吸着速度を求め, 傾きから単位面積当たりの最大吸着量を求めた。計算方法を図 5 に示す。なお, それぞれの VOC ガスごとに別々の原ガス用捕集袋を用意した。

2.3 ユニットハウス試験

ハウスを2棟用意し, 片方の内装材をクロス, もう一方に珪藻土入り壁材を施工し, 1週間連続換気後に実験を行った。実験1では, 換気後のハウス内にホルムアルデヒドガスを充満させて計測を行い, 終了後に再度十分な換気を行い, トルエンガス試験を行った。実験2では, VOCが長時間発生する条件を想定して, 塗料を塗布した合板を床に設置し, 1ヵ月間のハウス内VOC濃度変化を測定した。

(1) 実験 1

濃度を調整したホルムアルデヒドガス・トルエンガスを作成してハウス中に散布後, サンプルング (4, 6, 8, 24時間) を行い, 内装施工の違いによるハウス内VOC濃度の変化を比較した。なお, 各ガスによる試験は別々に行った。ガス作成には10ℓの捕集袋を使用した。ホルムアルデヒドガスは, 捕集袋中に37%ホルマリン溶液を5ml, トルエンガスについては, トルエン溶液を500μℓ加えた。捕集袋に窒素ガスを充填後, 一定温度 (20°C) 下で1時間静置した。静置後は検知管を用いて, 捕集袋中のガス濃度を測定した。サンプルングとガス散布は, ハウスの床に穴を開け, テフロンチューブを通して行った。測定状況を図6に示す。ガス散布用のチューブとサンプルング用のチューブは別々に用意した。

ホルムアルデヒドについては, 吸着剤としてDNPHカートリッジ (流量: 1ℓ/min, 5min), 分析機器はHPLC (LC-2010, 島津製作所㈱) を用いた。トルエンについては, 吸着剤はTenax-TA (流量: 0.1ℓ/min, 5min), 成分分析はGC-MS (QP2010Plus, 島津製作所㈱) を用いた。

(2) 実験 2

合板の1面に油性塗料を塗布し, 同サイズの合板と貼り合わせた材料をハウス内に静置した。送風機で風を材料に当て, 室内空気を循環させた上でハウスを密閉し, 室内 VOC のサンプルングを行った。測定状況を図 7 に示す。分析対象は温度・トルエン・TVOCの3種類とし, 温度測定はおんどりを用いた。また, トルエン・TVOCの測定条件は実験1のトルエンと同様とし, 計測期間は2011/11/28 ~ 2011/12/28の30日間とした。

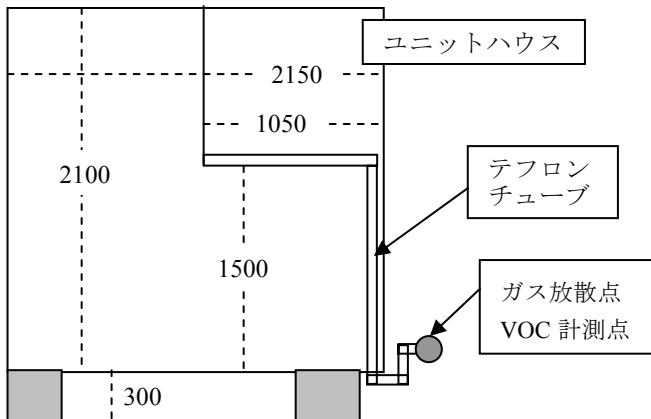


図6 ユニットハウス測定状況 (実験1)

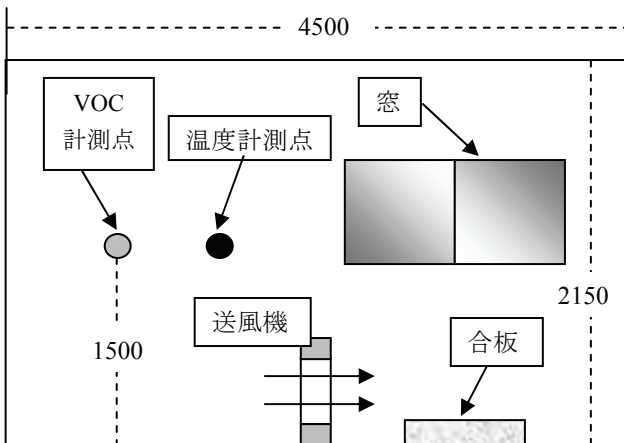


図7 ユニットハウス測定状況 (実験2)

3. 実験結果

3.1 室内試験 (土壁)

捕集袋中のホルムアルデヒドガスの濃度変化を図8, トルエンガスを図9, アンモニアガスを図10にそれぞれ示す。なお濃度変化が大きいので、図8は対数グラフとして表示する。

ホルムアルデヒドの吸着量については、各混和材において大きな差は見られなかった。しかしながら、濃度自体は大きく低減しているため、土壁自体が大きな吸着性能を持つものと思われる。

なお、今回の実験では、高濃度の試料ガスを使用したため、最終的な濃度も最低で $3\text{mg}/\text{m}^3$ 程度と高く、厚生労働省の指針値 ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$) と比較検討できる値とはなっていない。また、土壁からの再放散なども考えられるため、今後、低濃度の場合や繰り返しの実験なども行ない、居住環境に即した条件での性能を検証していく必要がある。

混和材による差は大きくなかったが、消石灰を加えたものでは、後半も徐々に濃度が低下しており、ホルムアルデヒドと消石灰の反応 (ホルモース反

応) によるホルムアルデヒドの減少が起きている可能性が考えられる。

一方、トルエンでは混和材により吸着量に大きな差が生じ、竹炭・くん炭において、特に良好な吸着性能を示した。珪藻土を加えたものでは、種類により多少の差が見られたが、いずれも混和材を加えないものに比べ、吸着量が増加した。また、貝灰、消石灰を加えたものでは改善効果は見られなかった。このことから、適切な混和材を選択することにより、有効な建材を開発できる可能性が考えられる。

アンモニアについては、いずれの供試体も高い吸着性能を示したが、24時間後の結果を見ると、消

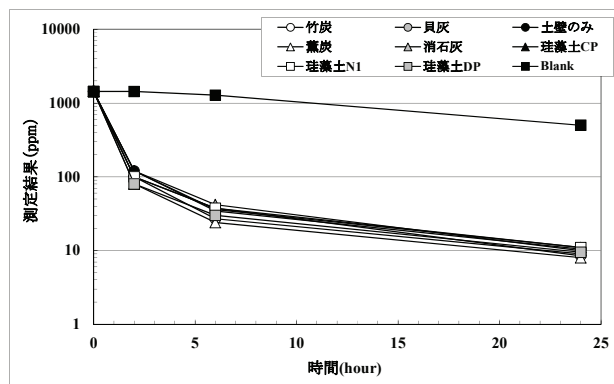


図8 ホルムアルデヒドガス測定結果 (土壁)

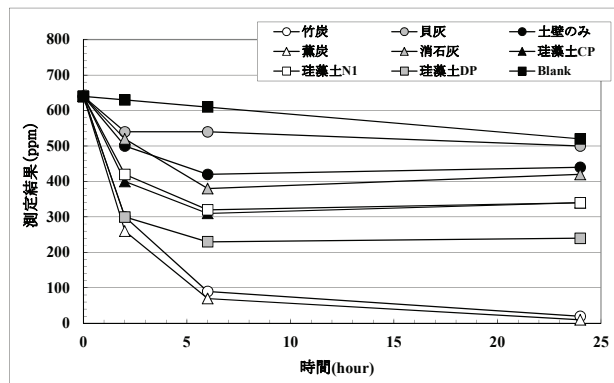


図9 トルエンガス測定結果 (土壁)

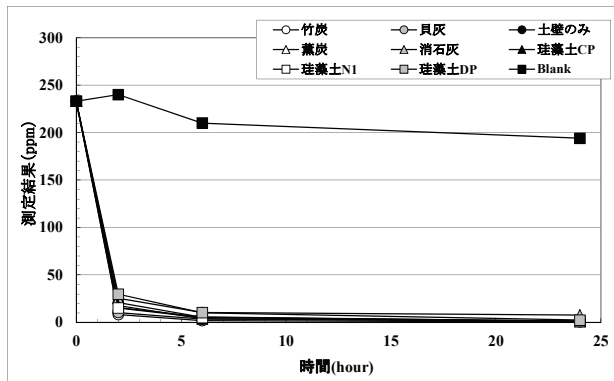


図10 アンモニアガス測定結果 (土壁)

石灰を加えたものが、ごく僅かながら、他のものより高めの濃度を示していた。このことから、消石灰はアルカリ性の気体については、吸着効果がわずかに低くなるものと考えられる。

3.2 室内試験（珪藻土入り壁材・木炭入り塗料）

各 VOC による測定結果（図 11・図 12・図 13）を示す。また、単位面積当たりの VOC 最大吸着量（図 14）を示す。アンモニアとトルエンについては、珪藻土入り壁材では 2 時間経過後よりも 6 時間経過後の方が、捕集袋中の VOC 濃度が高くなる傾向が見られるが、これは検知管法による測定誤差と材料からの VOC 再放散の可能性が考えられる。

また、Blank の結果についても VOC 濃度の低下が見られ、特にトルエンでは 400 (mg/m²) の濃度低下が起こっている。しかしながら、テドラーバッグのトルエン保存性は 24 時間後において 87 (%) 程度となっており^[7]、今回の検討では、材料を入れるための切れ目を入れて封をした状態で 83 (%) 程度のバリア性を保っていることから、結果は妥当なものと思われる。

24 時間経過後の値を Blank 値と比較した結果、珪藻土入り壁材ではアンモニアが 28.33 (mg)、ホルムアルデヒドは 6.26 (mg)、トルエンは 1.15 (mg) だけ吸着する結果が得られた。また、1m² 当たりの最大吸着量は、アンモニアで 7.91 (g/m²)、ホルムアルデヒドで 1.84 (g/m²)、トルエンで 0.77 (g/m²) となった。

一方、木炭入り塗料ではアンモニアが 21.25 (mg)、ホルムアルデヒドは 6.28 (mg)、トルエンは 4.60 (mg) だけ吸着する結果が得られた。また、1m² 当たりの最大吸着量は、アンモニアで 5.73 (g/m²)、ホルムアルデヒドで 1.73 (g/m²)、トルエンで 1.46 (g/m²) となった。

3.3 ユニットハウス試験（実験1）

図 15 にホルムアルデヒド濃度測定結果、図 16 にトルエン濃度測定結果を示す。施工材料によらず、時間が経過するに従って室内濃度は低減するが、珪藻土入り壁材施工側は濃度低下がより早くなり、ホルムアルデヒド・トルエンともに、8 時間後には室内濃度指針値以下となった。一方、クロス施工側においては、ホルムアルデヒドについては 24 時間経過後には指針値以下となったが、トルエンについては 24 時間後も指針値を上回った。

3.4 ユニットハウス試験（実験2）

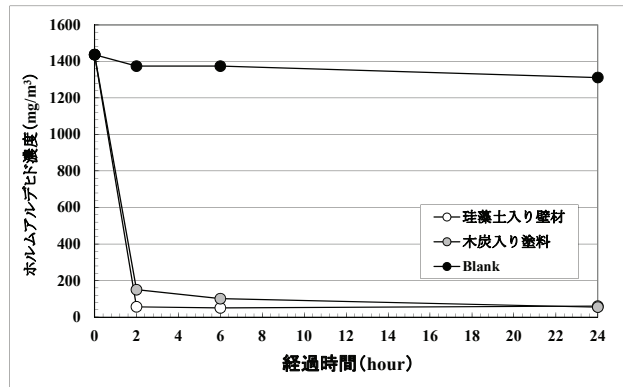


図 11 ホルムアルデヒドガス測定結果
(珪藻土入り壁材, 木炭入り塗料)

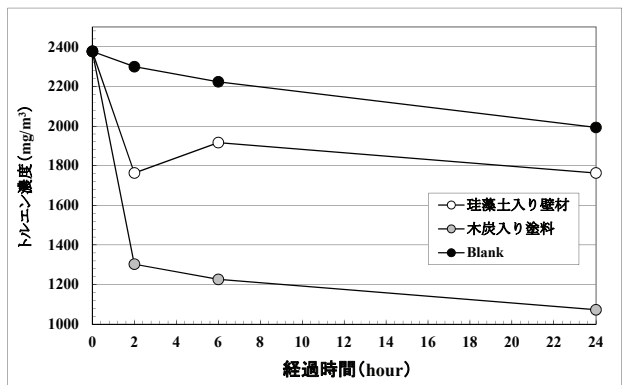


図 12 トルエンガス測定結果
(珪藻土入り壁材, 木炭入り塗料)

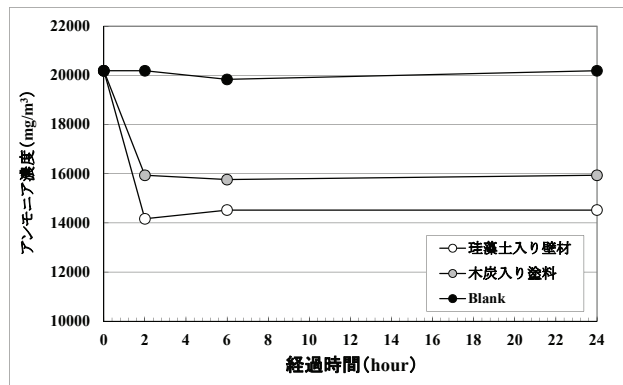


図 13 アンモニアガス測定結果
(珪藻土入り壁材, 木炭入り塗料)

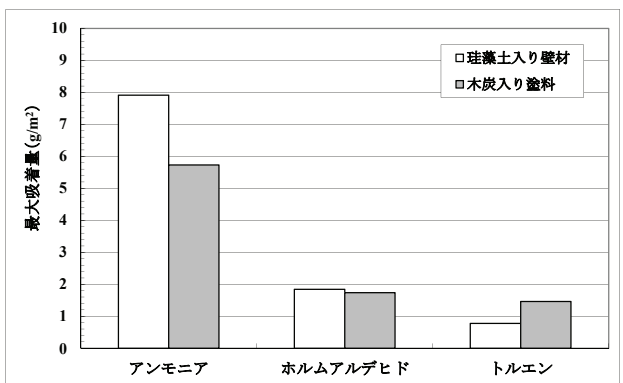


図 14 最大吸着量計算結果 (1m² 当たり)

図17に各ハウスの室温、図18にトルエン濃度、図19にTVOC濃度の測定結果を示す。トルエン濃度は、合板静置後1日目で急上昇したが、その後急激に低下し、3日後にはどちらの空気質もほぼ30 (µg/m³) 以下で安定する結果となった。ただし、初期の濃度は、珪藻土入り壁材施工側の方が早く低下し、クロス施工側と比べて、半分程度の値を示した。

TVOC濃度はトルエンと同様に、合板静置後1日目で急上昇したが、静置後18日目まで、クロス施工側の濃度が5000 (µg/m³) 以上となり、トルエンに比べて残存する傾向が高いことが示された。

一方、珪藻土入り壁材施工側については試験期間の間において、クロス施工側と比べて、TVOC濃度が半分程度まで低下し、吸着効果が長期に亘って継続することが示された。

4. まとめ

塗り壁材等（土壁・珪藻土入り壁材・木炭入り塗料）を用いることにより、室内のVOC成分を吸着することが可能か、各種検討を行った。

今回実験した土壁は、比較的水に溶けやすいホルムアルデヒド・アンモニアに対して、高い吸着性能

があることが確認できた。また、トルエンを使用した実験でも、竹炭、くん炭などを混入することにより、よい吸着性能を示すことがわかった。

珪藻土入り壁材についても、土壁同様に良好なVOC吸着性能を示し、特にアンモニアの吸着効果が高かった。また、ユニットハウスを用いた場合でも、VOC濃度の高低にかかわらず、室内濃度を低減させる効果が示された。

木炭入り塗料も、他の材料同様に高いVOC吸着性能を示し、特にトルエンに対する吸着性能が高かった。そのため、珪藻土入り壁材はし尿臭に、木炭

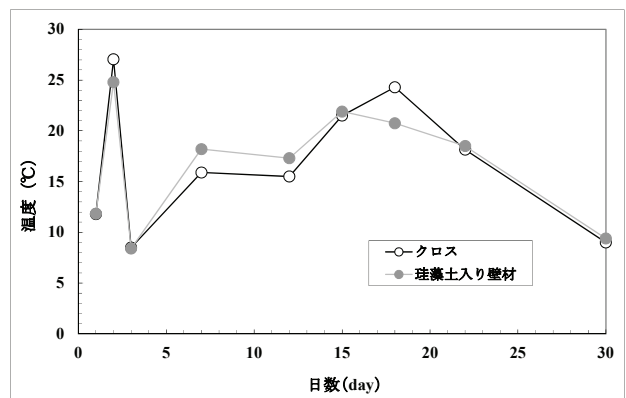


図17 ハウス内室温測定結果 (実験2)

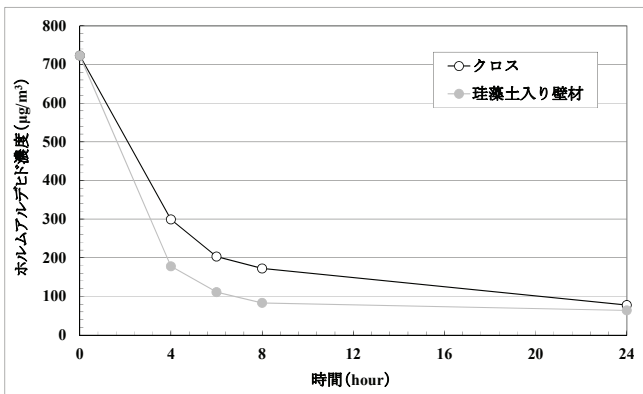


図15 ホルムアルデヒドガス測定結果 (実験1)

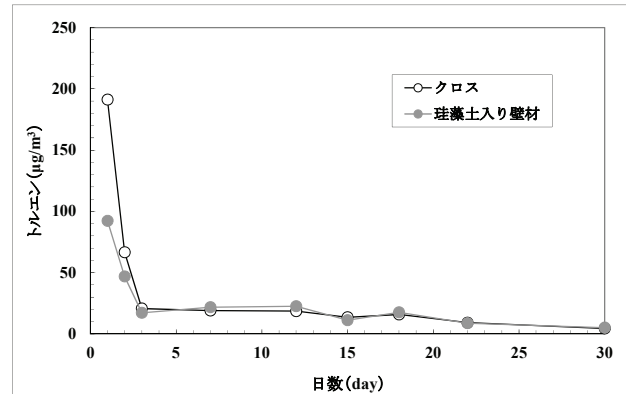


図18 トルエン濃度測定結果 (実験2)

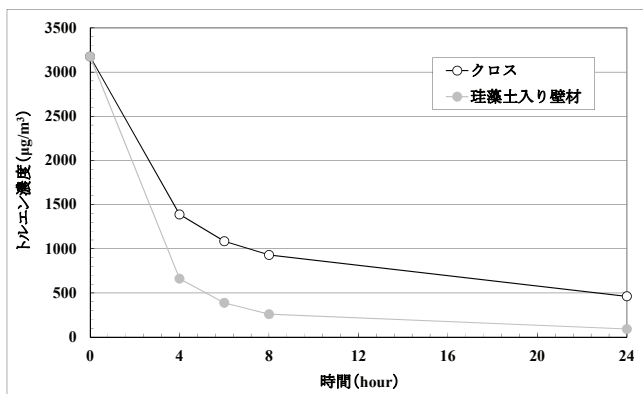


図16 トルエンガス測定結果 (実験1)

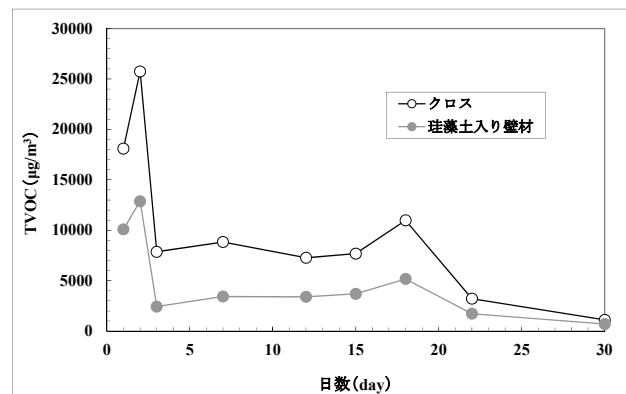


図19 TVOC濃度測定結果 (実験2)

入り塗料は溶剤臭に対して吸着性能が高いと考えられる。

参考文献

- [1]和田牧子他：炭のボードへのホルムアルデヒド・トルエン・アンモニアの最大吸着量，高知工科大学工学部物質環境システム工学科 平成19年度学士論文
- [2]村田裕子，浦憲親，山本智大：土を主材とした建材に関する基礎実験，日本建築学会北陸支部研究報告集，第53号，pp.9-10,2010.7
- [3]浦 憲親，松村崇司，後藤正美，永野紳一郎，蒲田幸江：壁土の試験法に関する基礎実験，日本建築学会技術報告集，第24号，pp.35-38，2006.12
- [4]山本智大，浦憲親，後藤正美，永野紳一郎：消石灰の投入時期と壁土の品質，日本建築仕上学会大会学術講演会研究発表論文集，pp.147-150，2007
- [5]李智賢他：機能性建材の吸着性能に関する実態調査，日本建築学会大会梗概集，環境工学Ⅱ，41312，pp.631-632
- [6]石川伸介他：改質材を用いた土壁の室内汚染物質の吸着性能に関する実験，2010年度日本建築学会関東支部研究発表会，No.1007，pp.25-28，2011.3
- [7]島津ジーエルシー：ジーエルコンテツサテライトニュース，Vol.46

